

エレファンテック、次世代パワー半導体向け接合材 SApire™ D を開発 - 自己組織化銅ナノ粒子を用いた低温焼結型銅ナノペースト -

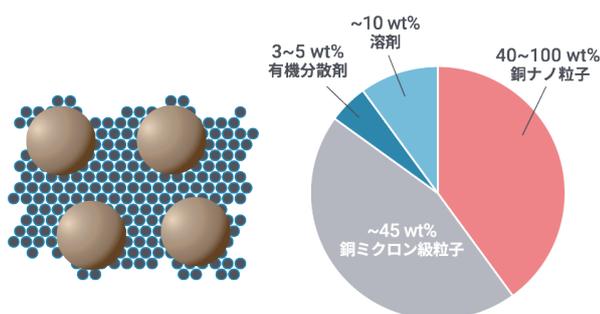
エレファンテック株式会社（本社：東京都中央区、代表取締役：清水 信哉）は、この度、次世代パワー半導体向けに、自己組織化銅ナノ粒子（SA-CuNP）を用いた低温焼結型銅ナノペースト SApire™ D の開発に成功しました。



本製品は、「ミクロンサイズの銅粒子表面が、ナノサイズの銅粒子で被覆されることで、全体が大きなナノ粒子かのように振る舞い、低温で焼結する」という新たなメカニズムを用いた銅ナノペーストです。ナノ粒子の割合が 10 wt%程度とこれまでの常識では考えられないほど少ない添加量で、ミクロンサイズの銅粒子^{*1}が主体でありながら、250℃の低温焼結で 40 MPa 超という極めて高い接合強度と、 $6.4 \mu\Omega\cdot\text{cm}$ の低い体積抵抗率を実現しました。

通常の銅ナノペースト

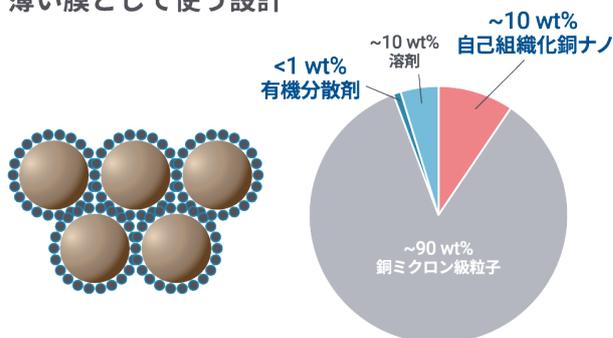
ナノ粒子を主成分として、
銅ミクロン級粒子を混ぜる設計



○ 耐酸化分子層（有機成分） ● 銅ナノ粒子 ● 銅ミクロン級粒子

低温焼結型銅ナノペースト SApire™ D

ナノ粒子を銅ミクロン級粒子に自己組織化させて
薄い膜として使う設計



- 極少量の有機分散剤にて安定した分散が可能
- 少量添加で優れた機能性を発現

図 SApire™ D と通常の銅ナノペーストの違い

当社はこれまで、環境負荷低減に貢献するプリント基板（PCB）事業を推進してまいりました。今後は本開発を起点に、当社が培ってきた「ナノ材料技術」を活かし、急成長する半導体パッケージングやAI コンピューティング分野へも事業領域を本格的に拡大してまいります。

開発の背景

これまで、パワー半導体チップと放熱基板の接合には、半田が用いられてきました。一方で半導体チップのハイパワー化・高発熱化が進む中、半田接続では再溶融のリスクや熱伝導の低さによる放熱不足などの課題が顕在化しています。半導体のハイパワー化の制約を解消する次世代接合ソリューションとして、高温領域においても再溶融等のリスクが無く、強固な接合を維持し、かつ熱伝導率の高い「焼結接合材料」が求められています。

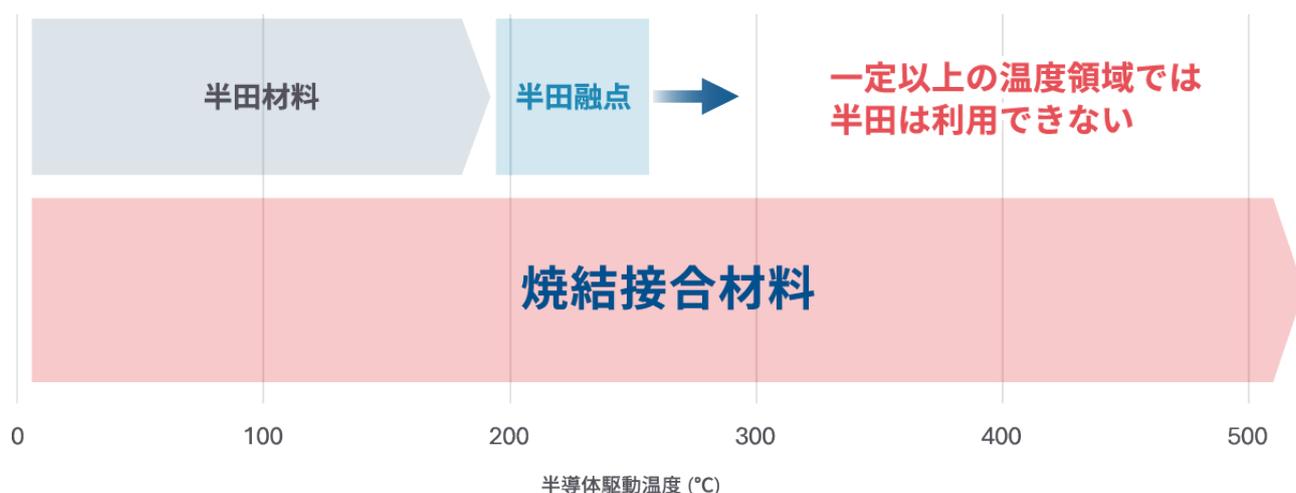


図 パワー半導体駆動温度域から見る焼結接合材料の必要性

焼結接合材料としては、ナノ材料の融点降下現象を活用した手法が有力とされています。先行して銀ナノ粒子ペーストが検討されてきました。これは、銀をナノ粒子化することで融点降下現象を利用し、バルク状態では融点 961 °C の銀を約 200 °C で焼結可能にしたペーストです。焼結後は銀本来に近い特性を示すため、接合部は銀の融点である 961 °C 近傍まで再溶融しないという特長を持ちます。

ただし、成分の大半が純銀であるためコストが高く、用途は限定されてきました。加えて、近年の銀価格の高騰により、広く普及する材料とすることは難しくなっています。こうした背景から、銀の約 100 分の 1 程度のコスト水準である銅を用いた銅ナノ粒子ペーストの開発が期待されてきました。

しかし、銅は銀に比べて酸化しやすく、低温での焼結が難しいという課題がありました。融点降下を利用するためには粒子をナノサイズまで微細化する必要がありますが、ナノ化すると比表面積の増大によって酸化しやすくなるほか、酸化を防ぐためにナノ粒子表面を保護する有機分子を多量に必要とし、かえって焼結しにくくなるという「銅ナノ粒子のパラドックス」を抱えていました。これに対し、ナノサイズより大きなマイクロサイズの銅粒子は酸化しにくいものの、融点降下が生じないため、低温焼結を実現することができませんでした。



銅は焼結しづらく、ナノサイズ融点降下による低温焼結性付与が必要

イオン化列	Li K Ca Na Mg Al Zn Fe Ni Sn Pb (H2) Cu Hg Ag Pt Au
	大 ← イオン化傾向 → 小
反応	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 33%;">瞬時に酸化</div> <div style="width: 33%; text-align: center;">金属酸化物状態を保とうとする</div> <div style="width: 33%; text-align: right;">金属に戻ろうとする</div> </div>

焼結困難な Cu に対し、ナノ粒子由来の『低温焼結性』を効果的に活用する技術が求められる。

ナノ粒子を大量添加しないと焼結しないが、添加すると耐酸化分子が増大して特性悪化

Cu ナノ粒子の添加のパラドックス

- 融点降下現象の発生 → 焼結しやすい
- 耐酸化分子 (有機成分) の増加 → 焼結時に残存し特性悪化



図 焼結材料としての『銅ナノ粒子のパラドックス』

今回の技術的ブレイクスルー

当社はこのパラドックスを解決するため、「ミクロンサイズの銅粒子表面が、ナノサイズの銅粒子で被覆されることで、全体が大きなナノ粒子かのように振る舞い、低温で焼結する」という新たなメカニズムを見出しました。これは銅ナノ粒子の自己組織化現象を利用したものであり、このメカニズムを活用して開発した銅ナノペースト Saphire™ D は、以下のような特長を備えています。

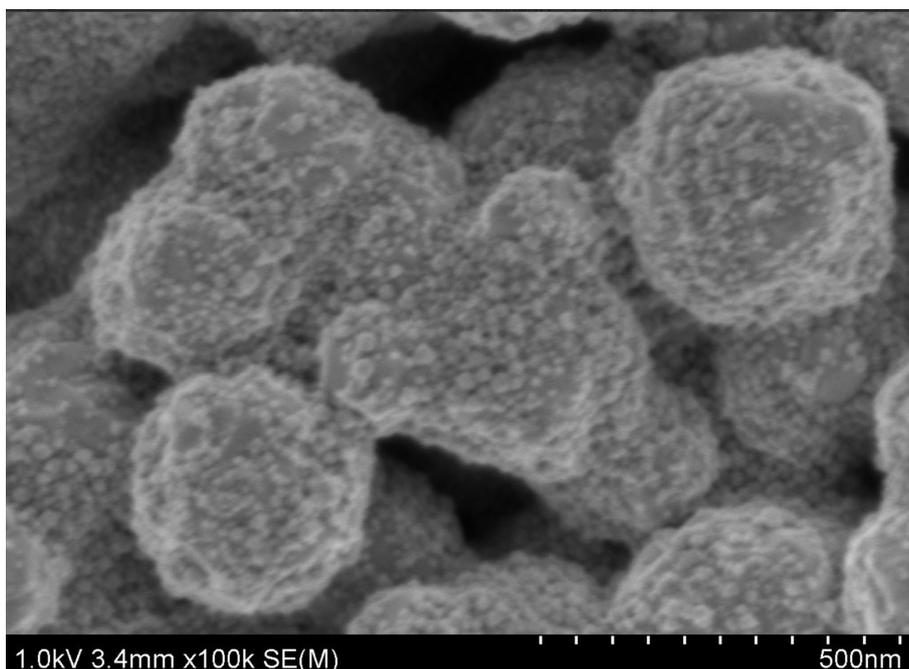
1. 自己組織化現象を活用したミクロンサイズ銅粒子の低温焼結の実現

- 従来、ミクロンサイズの銅粒子は、低コストかつ安定性に優れる一方で、低温での焼結が難しいという課題がありました。
- 当社は、銅ナノ粒子の自己組織化現象を活用することで、焼結型銅ナノペーストの主材料であるミクロンサイズの銅粒子を、ペースト中に 10%程度含まれる少量のナノ粒子で被覆することに成功しました。
- これにより、ミクロンサイズの銅粒子表面に実質的に「大きなナノ粒子」のような表面特性が付与され、金属成分の約 90%がミクロンサイズの銅粒子であるにもかかわらず、200°Cから焼結可能な優れた低温焼結性を実現しています。

2. 有機分散剤の使用量を最小化し、高金属含有のペーストを実現

- 一般に、ナノ粒子を主体とするペーストでは、安定した分散状態を維持するために、数%以上の有機分散剤を添加する必要があるという課題がありました。
- 当社は、ナノ粒子の添加量を最小限に抑えつつ、それらをミクロンサイズの銅粒子表面に自己組織化させることで、1 wt%未満という極めて少量の分散剤でもペースト全体に行き渡る設計を実現しました。
- その結果、高い金属含有率と安定した分散性を両立したペーストの開発に成功しました。

本技術は、当社が2025年12月に発表した「[自己組織化銅ナノ粒子 \(Self-Assembling Cu Nanoparticles, 以下 SA-CuNP\) 技術](#)」のコンセプトを発展・継承したものです。



SA-CuNPが銅ミクロン粒子に自己組織化する現象を捉えた走査電子顕微鏡 (SEM) 像

本製品の優位性

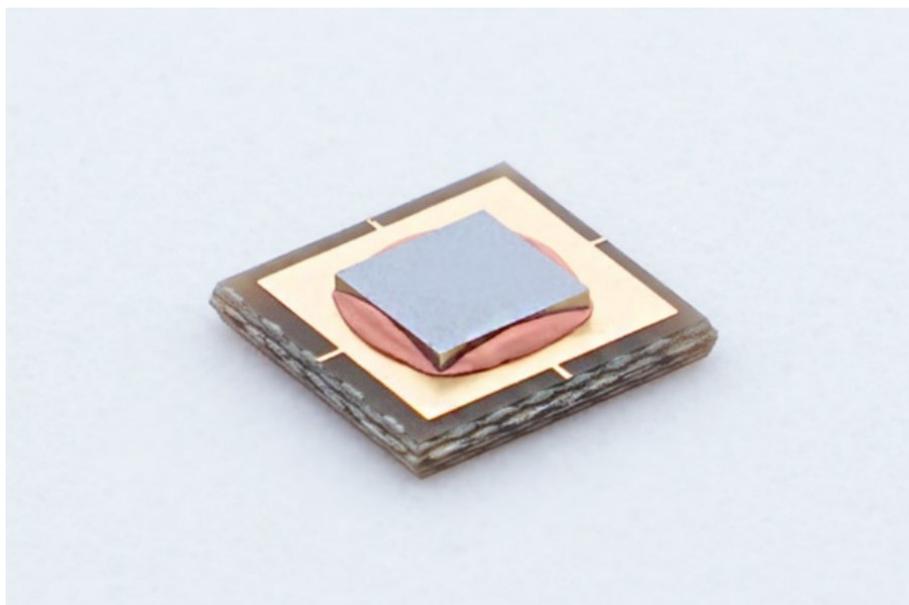
銅ナノ粒子の自己組織化現象を活用した低温焼結型銅ナノペースト SPhire™ D は、焼結接合材料として以下のような優位性を備えています。

1. 高い接合強度と低抵抗

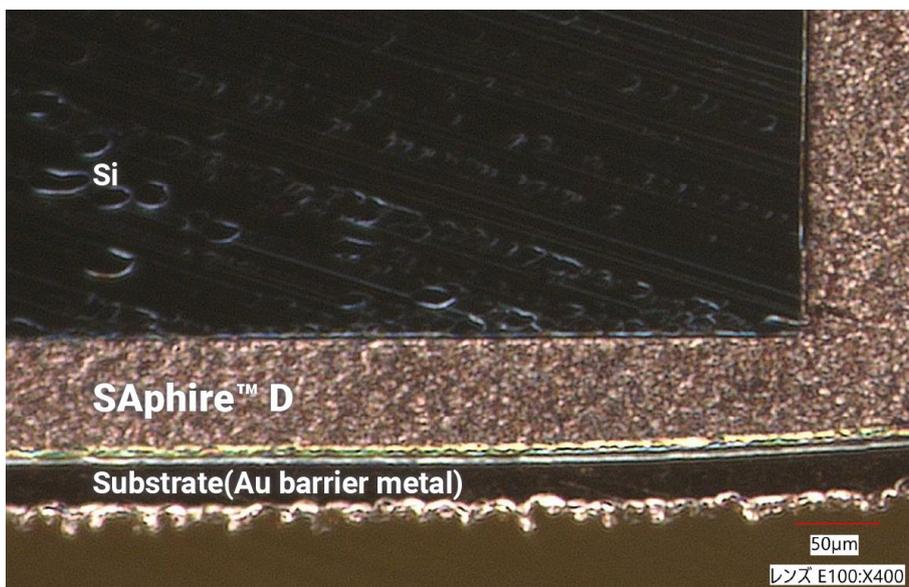
- 無垢銅同士の 250 °Cでの加圧接合において、40 MPa 超の接合強度を実現しました。
- さらに、200°Cにおいても、加圧焼結により 25 MPa 以上の接合強度を実現しています。
- また、無加圧条件でも $6.4 \mu\Omega\cdot\text{cm}$ の低抵抗率を実現しています。

2. 優れたコスト競争力と用途展開性

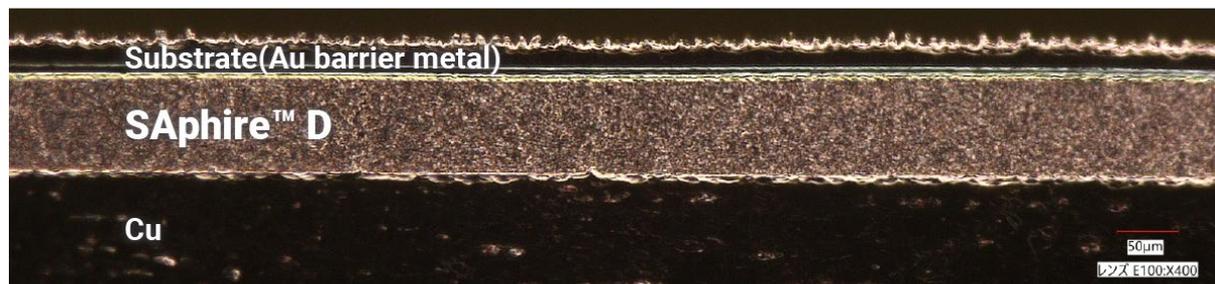
- ナノ粒子の配合量を少量に抑えていることから、製造コストの面でも優位性があります。
- そのため、ダイアタッチ材のみならず、大面積の TIM²材をはじめとする放熱材料への展開も期待されます。



基板×Cu paste×Si チップの外観



ダイアタッチサンプルの断面画像



放熱基板実装想定サンプルの断面画像



今後の展開

低温焼結型銅ナノペースト SPhire™ D は、既に世界の主要なパワー半導体メーカーにおいて、ダイアタッチ材及びTIM用途でのサンプル評価を開始しており、今後、量産プロセスへの適用に向けた取り組みを一層加速してまいります。

これに伴い、当社は従来の PCB 事業の枠を超え、「Nanomaterials Powering AI Computing」をキーワードに、ナノマテリアルを起点とした製品・ソリューションの提供を通じて、AI 時代における技術課題の解決に貢献する企業として成長を目指してまいります。

*1: 概ね直径 $0.4\mu\text{m}$ 以上の粒子をミクロンサイズの粒子と定義

*2: TIM = サーマル・インターフェース・マテリアル

お問合せ

エレファンテック株式会社 事業開発部

bd@elephantech.co.jp

会社概要

会社名	エレファンテック株式会社
設立	2014 年 1 月
本社所在地	104-0032 東京都中央区八丁堀四丁目 3 番 8 号
代表	代表取締役社長 清水 信哉
事業内容	製造装置・材料の製造販売、プリント基板の製造販売
URL	https://elephantech.com/

メディアコンタクト
エレファンテック株式会社 広報担当
pr@elephantech.co.jp